

令和 5 年度

理 科

物	理	1 ページ～ 8 ページ
化	学	9 ページ～ 20 ページ
生	物	21 ページ～ 33 ページ

注意事項

1. 監督者の許可があるまでは、中を見てはいけない。
2. 問題冊子に欠けている部分や印刷が不鮮明な箇所などがあれば申し出ること。
3. 解答用紙は、物理(その 1～その 2)、化学(その 1～その 4)、生物(その 1～その 4)の 3 科目分を綴ってある。

解答を始める前に、自分の選択する 2 科目に関係なく全科目の解答用紙に必ず受験番号を記入すること。なお、受験票の理科受験科目届の○で囲んだ科目以外を解答した場合は採点されないので注意すること。

4. 解答は、必ず解答用紙の所定の解答欄に記入すること。
5. 問題用紙の余白は、計算用紙として利用してもよい。

化 学

必要に応じて、以下の数値を使用せよ。

原子量 $H = 1.0$, $C = 12.0$, $N = 14.0$, $O = 16.0$, $Na = 23.0$, $S = 32.0$,

$Cl = 35.5$

$\sqrt{2} = 1.414$, $\sqrt{3} = 1.732$, $\sqrt{5} = 2.236$, $\sqrt{7} = 2.646$

気体定数 $R = 8.31 \times 10^3 (\text{L} \cdot \text{Pa}) / (\text{K} \cdot \text{mol})$ $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$

数字は特に指定のない限り、有効数字3桁まで求めよ。

1 次の文を読んで、以下の問いに答えよ。

炭素とケイ素はともに周期表の14族に属する元素であり、原子は4個の価電子をもち、他の原子と共有結合をつくることができる。

炭素には多くの同素体がある。正四面体の構造が立体的にくり返された構造をもつダイヤモンドをはじめ、網目状の平面構造からなる , が層状に重なり によって結びつけられている , の平面構造が筒状になった がある。また、活性炭・すす・炭など、明確な結晶構造をもたないものもある。^(a)

ケイ素は地殻中に に次いで多く存在する元素である。ケイ素の単体は、絶縁体であるダイヤモンドと同様の構造をもつが、導体と絶縁体の中間の電気伝導性を有することから とよばれ、集積回路や太陽電池などの製造に用いられている。

炭素の酸化物である CO と CO_2 は無色・無臭の気体である。 CO は O_2 に比べて、血液の赤血球に含まれるタンパク質である と結合しやすいため、肺に取り込まれると、 によって運搬される酸素量が不足する。 CO_2 は呼気中に含まれる気体であり、 CO_2 を石灰水に通じると白色沈殿を生じる。^(b)

ケイ素の酸化物である SiO_2 はシリカともよばれ、天然に多量に存在している。 SiO_2 は温度や圧力によって構造が異なり、石英やクリストパライトなどが

知られている。例えば、石英では Si-O-Si の結合角が 180° よりも小さいため、2つのケイ素原子間の距離は短くなり密度が高くなる。これに対して、Si-O-Si の結合角が 180° である高温型クリストバライトは、石英に比べて低密度である。高温型クリストバライトは Si の位置のみに着目すると、^(c)ダイヤモンドと同様の構造をしており、酸素原子は2つのケイ素原子の間に位置している。

問 1 ~ にあてはまる適当な語句を記せ。

問 2 下線部(a)のような状態を何というか、その名称を記せ。

問 3 下線部(b)の反応を化学反応式で記せ。

問 4 ケイ素の単体は、図 1 (a)に示した単位格子からなる結晶構造をもつ。この単位格子に含まれる原子の数を記せ。

問 5 下線部(c)について、以下の問いに答えよ。

- (1) 高温型クリストバライトの単位格子に含まれる酸素原子の数を記せ。
- (2) 図 1 (a)の青線で示した長方形 ABCD の断面を図 1 (b)に示す。ケイ素と酸素の結合距離 (nm) が r 、ケイ素と酸素のモル質量 (g/mol) をそれぞれ M_1 、 M_2 、アボガドロ定数 (/mol) を N_A としたとき、高温型クリストバライトの密度 (g/cm³) を、 r 、 M_1 、 M_2 、 N_A を用いて記せ。

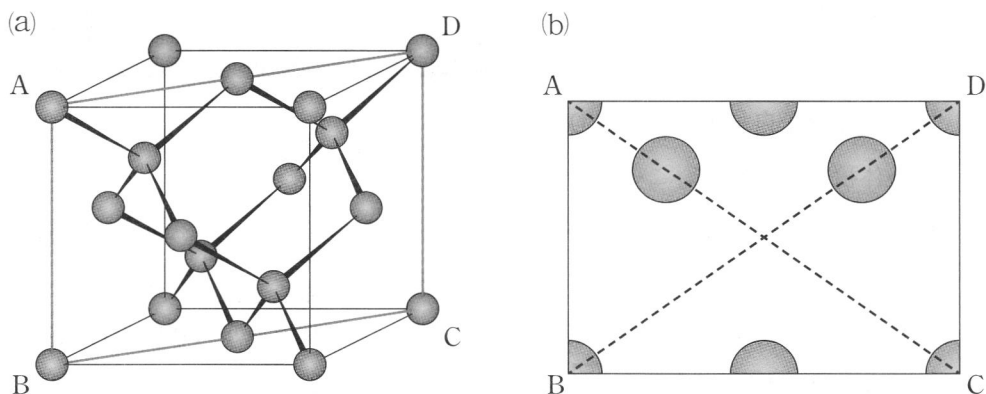


図 1 (a) ケイ素の単体の単位格子、(b) 長方形 ABCD の断面図

2 次の文を読んで、以下の問いに答えよ。ただし、実在気体の圧力、体積、物質量、温度をそれぞれ p 、 V 、 n 、 T とし、気体定数を R とする。

実在気体は低温のときや高圧のとき、分子間力の影響で気体が液体に変化してしまうため、気体の圧力が に等しくなると、ボイルの法則やシャルルの法則は成り立たない。^(a)

実在気体では、理想気体の状態方程式は厳密には成り立たない。そこで、ファンデルワールスは理想気体の状態方程式に、2つの補正を加えた「ファンデルワールスの状態方程式」を提唱した。

図2に示すように分子間力がはたらくと、分子が器壁に衝突するとき、近くの分子に引かれて圧力が低くなる。分子間力による圧力の低下は気体分子の濃度(単位体積当たりの物質量)の2乗に比例し、この比例定数を a とした。気体分子が n mol ある場合には、実在気体の圧力は理想気体の圧力から だけ減少する。

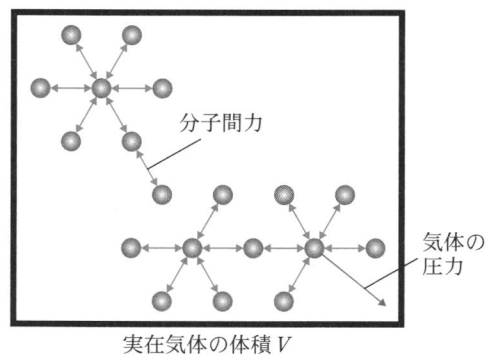


図2 実在気体の圧力の補正

また、図3に示すように実在気体では気体分子自身の体積により、動ける体積が減少する。この減少する

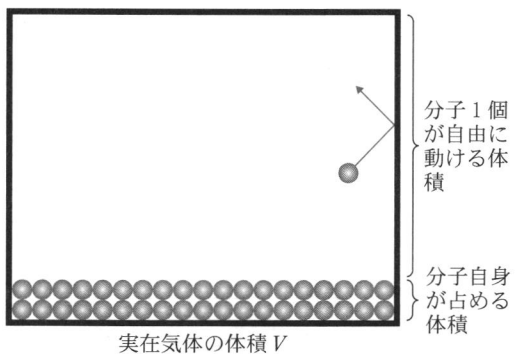


図3 実在気体の体積の補正

体積を とよぶ。気体分子1 mol 当たりの を b とすると、気体分子が n mol ある場合には、自由に動ける体積は となる。

したがって、上記2つの補正をすると、ファンデルワールス状態方程式における実在気体の圧力は となる。定数 a 、 b は「ファンデルワールス定数」とよばれており、表1にいくつかの気体の定数 a 、 b を示す。

次式で定義される Z は とよばれ、理想気体では常に 1 となる。 Z の値が 1 より大きくずれているほど、理想気体からかけ離れていることになる。

表1 ファンデルワールス定数

気体	a [Pa·L ² /mol ²]	b [L/mol]
He	3.50×10^3	0.0240
O ₂	1.38×10^5	0.0319
CH ₄	2.29×10^5	0.0428

$$Z = \frac{pV}{nRT}$$

ファンデルワールスの状態方程式は、分子間力が非常に小さい場合、あるいは非常に高压で の影響が分子間力の影響を大きく上回る場合には a を 0 と近似できる。このとき、1 mol 当たりの実在気体の Z は次のように示される。

$$Z = 1 + \frac{b}{RT} p$$

問1 文中の , , に、あてはまる適当な語句を記せ。また、 , , に、あてはまる適当な文字式を V , n , T , R , a , b を用いて記すこと。

問2 下線部(a)に関して、以下の問いに答えよ。

- (1) 温度一定で体積を小さくした場合の、実在気体の圧力の変化を図4の実線で示す。 に達した後の挙動として正しいものを図4の破線(ア)~(オ)から1つ選び、その理由を説明せよ。
- (2) 圧力一定で温度を低くした場合の、実在気体の体積の変化を図5の実線で示す。 に達した後の挙動として正しいものを図5の破線(ア)~(オ)から1つ選び、その理由を説明せよ。
- (3) 体積一定で温度を下げた場合の実在気体の圧力の変化を図6に示す。図6の圧力が温度に比例していない部分の曲線を何と呼ぶか、記せ。

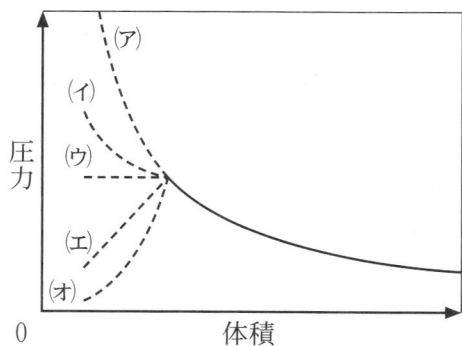


図4 実在気体の体積と圧力

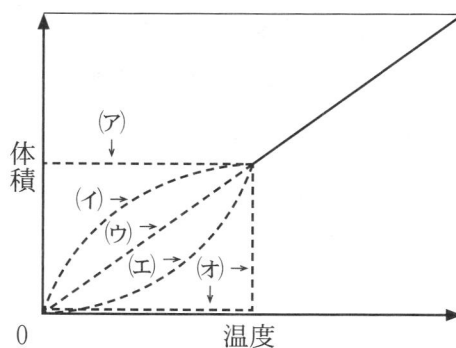


図5 実在気体の体積と温度

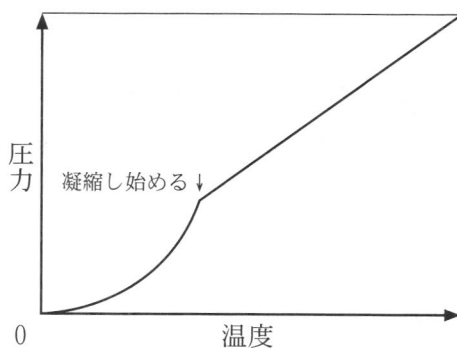


図6 実在気体の圧力と温度

問3 図7の(a)~(d)は300 Kのヘリウム、400 Kのヘリウム、300 Kのメタン、400 Kのメタンのいずれかを示す。正しい組み合わせを下の(ア)~(ク)から選び、その記号で記せ。

	(a)	(b)	(c)	(d)
(ア)	He, 300 K	He, 400 K	CH ₄ , 300 K	CH ₄ , 400 K
(イ)	He, 300 K	He, 400 K	CH ₄ , 400 K	CH ₄ , 300 K
(ウ)	He, 400 K	He, 300 K	CH ₄ , 300 K	CH ₄ , 400 K
(エ)	He, 400 K	He, 300 K	CH ₄ , 400 K	CH ₄ , 300 K
(オ)	CH ₄ , 300 K	CH ₄ , 400 K	He, 300 K	He, 400 K
(カ)	CH ₄ , 300 K	CH ₄ , 400 K	He, 400 K	He, 300 K
(キ)	CH ₄ , 400 K	CH ₄ , 300 K	He, 300 K	He, 400 K
(ク)	CH ₄ , 400 K	CH ₄ , 300 K	He, 400 K	He, 300 K

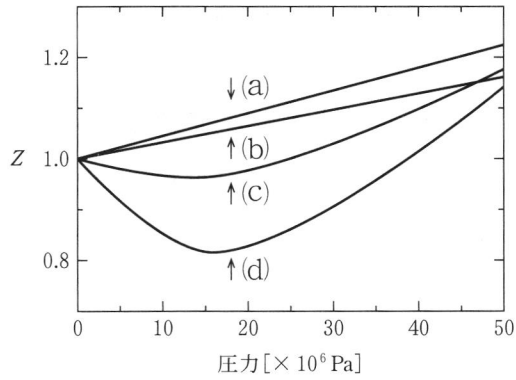


図7 圧力変化に伴う理想気体からのずれ

問4 温度、圧力によって体積が変化しない、体積10.0 Lの耐圧容器に、300 Kで 1.00×10^7 Paの酸素を充填した。この容器内の酸素が300 K、 1.00×10^5 Paで占める体積を求めよ。300 Kでの酸素のZは図8のように示される。

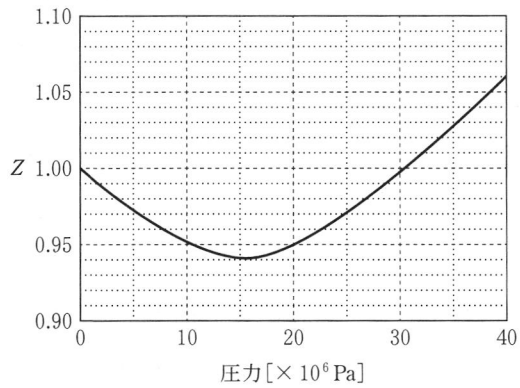


図8 圧力変化に伴う酸素の理想気体からのずれ

3

次の先生と生徒の実験室での会話文を読み、以下の問いに答えよ。

生徒：先生、ハロゲンは二重結合や三重結合への付加反応やベンゼンの置換反応のほかに有機化学の実験では使わないのですか？

先生：そんなことはないよ。ハロゲンは「強い酸化力」をもっていることを知っているかい？ 例えば、海水からとり出したヨウ化ナトリウムを塩素で処理するというヨウ素の製造方法もあるのだよ。

生徒：より酸化力の強い塩素でヨウ化物イオンを酸化させるのですね。

先生：そのとおり。そして、ハロゲンやハロゲンを含むオキシ酸は、アルコールを酸化する場合にも使えるのだよ。今日は、組成式が $C_8H_{10}O$ である 2 種類のアルコール A とアルコール B を使おう。

——先生が異なる 2 つのアルコールの構造式を板書した——

生徒：アルコール A には不斉炭素原子がありますね。もうひとつのアルコール B の脱水反応ではスチレンが生成しますよね。

先生：そうだね。まず、アルコール A にヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を加えて反応させてみよう。そして、アルコール B はヨウ素と別の塩基性物質を加える条件で実験をするよ。

——実験が終わり、結果についてのディスカッションが始まる——

生徒：先生、アルコール A を使った実験では、黄色の沈殿物が生成しました。また、この沈殿物には独特の臭いがありました。これを取り除き、残った溶液を酸性にして、有機溶媒で抽出すると化合物 C が得られました。アルコール B を使った実験では、生成物を有機溶媒で抽出すると化合物 D が得られました。この化合物 D は水層が酸性の場合でも、塩基性の場合でも、有機溶媒で抽出することができました。

先生：うまくいったね。それでは、アルコール A の実験から考察していこう。最初にアルコール A の酸化が起こり、化合物 E が生成したよね。化合物 E とヨウ素が反応したのち、水酸化物イオンと反応して沈殿物が生成した^(a)のだよ。沈殿物の分離後に、もしも君が水層を塩基性のままで抽出していたら、有機層に化合物 C は抽出されなかったね。アルコール B の実験で

は、半分のアルコール B が酸化して化合物 F になった。その化合物 F に残りの半分のアルコール B が反応して、ヘミアセタール構造をもつ化合物 G が生成したのだよ。

生徒：ヘミアセタール構造は、グルコースやフルクトースの構造にも含まれていますね。

先生：そうだね。そして、化合物 G には OH 基が結合している部分(>CH-OH)があるよね。その部分で再び酸化が起こり、化合物 D が得られたのだよ。

生徒：よくわかりました。次の実験も楽しみです！

問 1 次の(ア)~(ウ)について、正しいものには○を、誤ったものには×を、それぞれ解答欄に記せ。

- (ア) ヨウ素とヨウ化カリウムの褐色水溶液にアスコルビン酸(ビタミン C)を加えると無色の水溶液になるのは、アスコルビン酸が還元されるからである。
- (イ) ヨウ素はタンパク質のらせん構造の中に取り込まれて、青紫色に呈色する。
- (ウ) ヨウ素価の大きい油脂は、小さい油脂と比べ、空气中で酸化されて硬化しやすい。

問 2 アルコール B の化学構造式を記せ。

問 3 下線部(a)の反応を化学反応式を用いて記せ。ただし、有機化合物は構造式を用いて記すこと。

問 4 化合物 F に関して、次の(ア)~(ウ)について、正しいものには○を、誤ったものには×を、それぞれ解答欄に記せ。

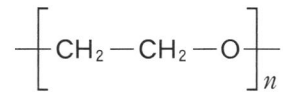
(ア) 12.2 mg を元素分析装置で完全に燃焼させると、30.8 mg の二酸化炭素と 5.4 mg の水を生成した。

(イ) フェーリング液を加えて加熱すると、酸化銅(I)の沈殿を生じた。

(ウ) 化合物 E とは異性体の関係にある。

問 5 化合物 D の構造式を記せ。

4 次の文を読んで、以下の問いに答えよ。ただし、構造式は例にならって記せ。



合成高分子化合物のうち、特別な機能を備えたものを機能性高分子化合物という。例えば、スチレンと少量の *p*-ジビニルベンゼンを共重合して得られた多孔質の合成樹脂 A を試薬 B で処理すると、スルホ基をもった樹脂 C が得られ、これを陽イオン交換樹脂という。一方、塩基性の基をもつ樹脂は陰イオン交換樹脂という。

円筒状の筒(カラム)に粒状の樹脂 C を詰め、塩化ナトリウム水溶液をカラムの上から流すと、カラムの下からは が流出してくる。また、海水のように種々のイオンを含む水溶液を、陽イオン交換樹脂および陰イオン交換樹脂のカラムに通すと、水溶液中のイオンは樹脂中の H^+ と OH^- にすべて交換され、イオンを含まない水が得られる。これを といい、実験室・研究所・工場などで蒸留水のかわりに用いられる。

アクリル酸ナトリウムを重合して得られた高分子化合物 D に橋かけ構造を導入して得られた高分子化合物 E は、その質量の十倍から千倍の質量の水を吸収・保持することができる。これを吸水性高分子(高吸水性樹脂)といい、紙おむつなどの衛生製品や乾燥地帯の緑化のための土壌保湿材などに広く用いられている。

ふつうの高分子化合物は電気を通さないので、絶縁体として用いられるが、アセチレンを重合して得られた高分子化合物に などを少量加えると、金属に近い電気伝導性をもった高分子化合物 F が得られる。これを導電性高分子といい、高性能電池・コンデンサー・表示素子などへの利用が進んでいる。

回収が難しく、自然界に廃棄されるおそれがある製品には、土壌や水中の微生物によって分解される が使われ始めている。例えば、ポリ乳酸やポリグリコール酸は自然界で分解されて、最終的には と になる。

問 1 1 ~ 6 にあてはまる適当な語句を記せ。

問 2 試薬 B の名称と高分子化合物 D の構造式を記せ。

問 3 スチレン 10.4 g と *p*-ジビニルベンゼン 1.30 g を共重合させて樹脂 A を合成し、さらに試薬 B で処理して、樹脂 C を合成した。共重合が完全に進行し、スチレン由来のフェニル基のうち、30 % にスルホ基が 1 個ずつ導入されたとき、得られる樹脂 C の質量を求めよ。ただし、*p*-ジビニルベンゼン由来の部分にはスルホ基が導入されないものとする。

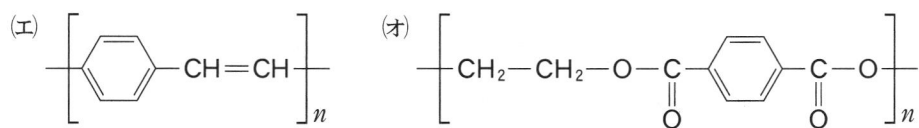
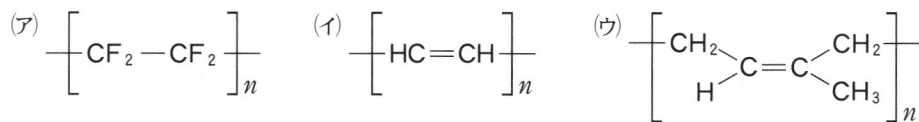
問 4 下線部(a)の理由として適当なものを、次の(ア)~(エ)からすべて選び、その記号を記せ。

- (ア) 立体網目状構造内の官能基が水和するから。
- (イ) 立体網目状構造内に新しい共有結合ができるから。
- (ウ) 立体網目状構造内の官能基どうしが静電的に引き合い、網目が拡大するから。
- (エ) 立体網目状構造の内部は、外部より浸透圧が大きいから。

問 5 下線部(a)に関して、高分子化合物 E に 5 % 塩化ナトリウム水溶液と 5 % スクロース水溶液をそれぞれ加えた場合の吸水量は、純水を加えた場合の吸水量と比べてどう変化するか、次の(ア)~(ウ)からそれぞれ 1 つ選び、その記号を記せ。

- (ア) 増加する。
- (イ) 減少する。
- (ウ) ほとんど変わらない。

問 6 電気伝導性の高い高分子化合物を次の(ア)~(オ)から 2 つ選び、その記号を記せ。



問 7 乳酸を単量体とする重合反応により、ポリ乳酸を合成した。重合反応が完全に進行し、1 分子のポリ乳酸が得られたと仮定した場合、3.60 g の乳酸から得られるポリ乳酸の質量を求めよ。

